

Б. Г. ЛУТЦ, И. А. ПЕТЕРСИЛЬЕ, В. К. КАРЖАВИН

СОСТАВ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОРОДАХ
ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 8 VII 1975)

В горных породах часть газов оказывается замурованной в закрытых порах минералов и газовой-жидких включениях. Такая газовая фаза может быть извлечена, и ее состав исследован. Прямые определения могут осветить вопрос о составе и режиме газовой-флюидных растворов в верхней мантии*.

Парагенетический анализ природных перидотитов (⁴, ⁵) и экспериментальные исследования (⁶, ⁷) свидетельствуют о том, что включения гранатовых перидотитов из кимберлитовых трубок являются мантийными образованиями, формирующимися на глубине свыше 70 км. Менее глубинные включения шпинельсодержащих перидотитов из щелочных базальтов. Еще менее глубинные альпинотипные гипербазиты. Среди эклогитов различаются мантийные эклогиты с пироповым гранатом, изофациальные с гранатовыми перидотитами, и менее глубинные коровые эклогиты с алмандиновым гранатом. Для нашего исследования были выбраны крупные, неизмененные включения гранатовых перидотитов, мантийные и коровые эклогиты и кимберлиты. Детальные описания пород приведены в более ранней работе (⁵).

Газ, находящийся в закрытых порах пород и во включениях в минералах, извлекался из образцов пород в вакууме путем измельчения их на вибростирателе в специальных герметичных стаканах с мелющими телами. Анализ газов производился на хроматографических газоанализаторах с определением следующих компонентов природных газовых смесей: He, N₂, O₂, N₂, CH₄, C₂H₆, *изо*-C₄H₁₀, *изо*-C₅H₁₂, непредельные углеводороды C₂-C₄, CO и CO₂.

Поскольку CO₂ обладает повышенной сорбционной способностью и может сорбироваться на мелко измельченных частицах пород в процессе их дегазации, то порошок пород после извлечения газов подвергался прогреву в вакууме (80°; 4-16 час.) и повторной дегазации.

Результаты исследования газовой составляющей пород приведены в табл. 1. Во всех пробах отсутствует CO. Содержание тяжелых углеводородных газов изменяется в пределах (см³ кг): C₂H₆ 0,00005-0,0009; C₃H₈ 0,000-0,0001. Предельные углеводородные газы C₄-C₅ и непредельные углеводороды C₂-C₄ не обнаружены.

Как видно из приведенных данных, для перидотитов и эклогитов характерно содержание небольших количеств газа, изменяющихся в пределах от 0,53 до 1,33 см³ на 1 кг породы. Наблюдается резкое преобладание водорода над другими газами, присутствие сравнительно небольших количеств азота, метана, углекислого газа и гелия.

Включения гранатовых и гранат-шпинелевых перидотитов содержат в среднем (см³/кг): H₂O 0,48, CH₄ 0,0086, N₂O 0,14, He 0,00029. Мантийные эклогиты содержат почти такое же или несколько более высокое количество газов.

Вмещающие кимберлиты отличаются от перидотитов и эклогитов высокой газонасыщенностью. В них содержится больше водорода, метана, азота, хотя количество гелия остается на том же уровне, как и в гранатовых перидотитах.

* Как известно, в литературе обсуждаются варианты существенно водного, существенно углекислого (¹, ²) или водородного (³) состава газовой фазы.

Таблица 1

Анализы газов из гранатовых перидотитов, эклогитов и кимберлитов
из трубы Обнаженной

№ обр.	Порода	Объем газа	Содержание, см ³ /кг						
		Вес пробы	He	H ₂	O ₂ *	N ₂	CH ₄	CO ₂	H ₂ /CH ₄
Перидотиты									
Л-77—67	Гранатовый перидотит	$\frac{0,18}{343}$	0,00024	0,42	0,014	0,12	0,0078	0,062	54
Л-71—70	Гранат-шпинелевый перидотит	$\frac{0,22}{347}$	0,00010	0,46	0,015	0,17	0,0064	0,0076	70
Л-71—89	То же	$\frac{0,24}{325}$	0,00011	0,62	0,004	0,14	0,016	—	40
Л-72—307	Шпинелевый оливинит	$\frac{0,17}{333}$	0,0007	0,41	0,016	0,12	0,0063	0,068	65
Л-72—220	Гранатовый пироксенит	$\frac{0,19}{326}$	0,00	0,49	0,019	0,15	0,0068	0,017	70
	Средний перидотит		0,00029	0,48	—	0,14	0,0086	—	56
Эклогиты									
Л-106	Эклогит	$\frac{0,36}{332}$	0,00012	0,52	0,012	0,51	0,016	0,10	33
Л-72—52	»	$\frac{0,16}{311}$	Сл.	0,45	0,009	0,10	0,013	0,037	38
Л-72—54	»	$\frac{0,40}{307}$	0,00014	1,13	0,013	0,18	0,018	0,046	63
Л-71—61	Экстатитовый эклогит	$\frac{0,33}{260}$	0,00015	1,09	0,011	0,17	0,014	—	77
Л-72—50		$\frac{0,23}{336}$	0,00007	0,55	0,009	0,10	0,011	—	50
	Средний эклогит		0,00012	0,77	—	0,21	0,014	—	55
Л-71—28	Гранатовый экстатит	$\frac{0,29}{307}$	0,00013	0,69	0,012	0,24	0,031	—	22
Кимберлиты									
Л-69—206	Кимберлит из трубки «Обна- женная»	$\frac{1,0}{287}$	0,00035	2,17	0,0077	1,12	0,14	0,35	15
М-418	Кимберлит из трубки «Мир», массивный, черный, свежий	$\frac{2,0}{294}$	0,00020	3,64	0,016	3,20	0,068	0,91	53
Л-69—205	Кимберлит из жилы «Великан»	$\frac{0,61}{262}$	0,00012	1,89	0,011	0,30	0,11	0,031	17
	Средний кимберлит		0,00022	2,57	—	1,20	0,106	0,88	24
Измененные и другие породы									
М-420	Измененный кимберлит из трубки «Мир»	$\frac{0,14}{338}$	0,00007	0,32	0,011	0,08	0,0068	0,12	47
Л-71—187	Порфировидный гранатовый пе- ридоит, слабо серпентинизи- рованный	$\frac{9,1}{341}$	0,0012	4,67	0,091	21,4	0,14	0,056	33
К-226	Коровый омфацил-алмадинно- вый эклогит из Северного Казахстана	$\frac{0,40}{304}$	0,001	0,67	—	0,21	0,45	0,036	1,5
VIII-11	Ослюденный коровый эклогит с Южного Урала	$\frac{0,29}{350}$	0,0012	0,36	—	0,30	0,0032	0,0	112

* Наличие кислорода объясняется присутствием примеси сорбированного воздуха.

В сильно измененных кимберлитах содержание всех газов резко падает. Аналогично измененный, ослужденый эклогит с Южного Урала отличается очень низким содержанием газовой составляющей. Очевидно, что наложенные процессы изменения ведут к улетучиванию первичных газов.

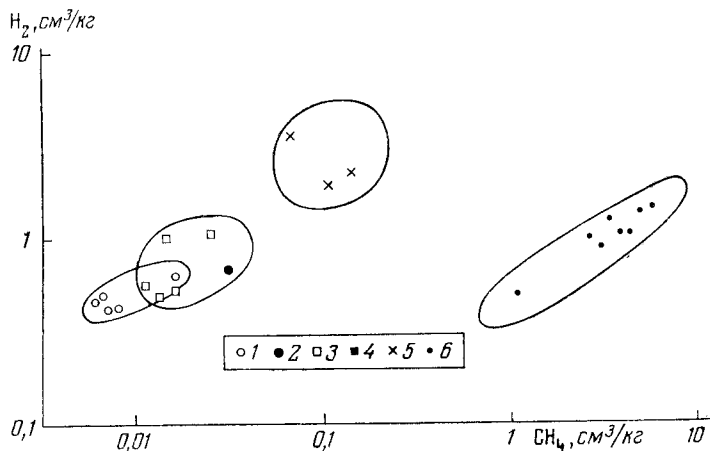


Рис. 1. Распределение водорода и метана в мантийных породах. 1 — гранатовый перидотит; 2 — энстатит; 3 — мантийный эклогит; 4 — коровый эклогит; 5 — кимберлит; 6 — альпинотипный гипербазит (по данным Л. В. Агафонова и Г. А. Андреевой, 1973).

Среди гранатовых перидотитов резко выделяется обр. П-71—187. Это неравномернозернистая катаклазированная порфириовидная порода, слабо серпентинизированная. Она существенно отличается от обычных полнокристаллических включений гранатовых перидотитов. Эту породу отличают повышенные количества водорода, метана, некоторое количество CO_2 и аномально высокое содержание азота. При подсчете средних содержаний газов в гранатовых перидотитах этот образец не принимался во внимание.

Данные по содержанию водорода и метана в мантийных породах нанесены на диаграмму (рис. 1), из которой можно видеть, что включения гранатовых перидотитов характеризуются довольно близкими содержаниями водорода и метана с резким преобладанием водорода. Близкие отношения H_2/CH_4 всех образцов могут свидетельствовать о том, что распределение водорода и метана в образцах гранатовых перидотитов близко к равновесному. В мантийных эклогитах содержание водорода и метана несколько увеличивается, но отношение H_2/CH_4 сохраняется таким же, как в гранатовых перидотитах. Поля гранатовых перидотитов и эклогитов частично перекрываются. В кимберлитах содержание водорода и метана сильно увеличивается. Интересно, что точки менее глубинных альпинотипных гипербазитов⁽⁸⁾ образуют самостоятельное поле; от более глубинных гранатовых перидотитов они отличаются уже преобладанием метана над водородом. Это свидетельствует о том, что в менее глубинных условиях равновесные отношения водорода и метана смещены в сторону метана. Очень характерно, что менее глубинный коровый эклогит из Северного Казахстана, в отличие от мантийных эклогитов, содержит гораздо больше метана и отличается более низким отношением H_2/CH_4 .

Для определения количества и динамики выделения воды во фракции — 1,6+1,0 глубинных ксенолитов навеска 10 г помещалась в кварцевую ампулу и подвергалась ступенчатому нагреванию в интервале температур 400—1200° в специальной установке. Средняя продолжительность нагревания образца при каждой температуре 1 час. Для удаления адсорбированных атмосферных газов и воды ампула с навеской перед опытом выдерживалась при 110—125° в течение 15 час. с одновременным откачиванием. Давление перед опытом в системе поддерживалось равным 10^{-3} мм

рт. ст. Из многочисленных методов анализа воды был выбран ацетиленовый вариант. Результаты определения в 5 образцах таковы:

№ пробы	Порода	H ₂ O
Л-72-52	Включение эклогита	0,24
Л-71-89	Включение гранат-шпинелевого перидотита	1,02
Л-74-68	Включение шпинелевого перидотита из базальта Чехословакии	0,02
Л-71-187	Включение порфировидного серпентинизированного гранатового перидотита	2,68
Л-69-206	Кимберлит	3,35

На рис. 2 показана динамика выделения воды при ступенчатом нагревании образцов. Как можно видеть, вода выделяется во всем интервале нагревания до 1200°, причем основная масса при 600—800°. Из диаграммы можно видеть, что динамика выделения воды оказывается одинаковой для кимберлита (содержащего серпентин и хлорит), для серпентинизированного перидотита и для внешне не измененных образцов эклогитов и перидотитов. Кривые для всех образцов имеют пик при 700°. Это заставляет предполагать, что во всех образцах мы определяем воду, связанную с поздними водусодержащими минералами, т. е. с позднейшими изменениями образцов. Оценить здесь долю первично-мантийной воды не представляется возможным.

Резюмируя данные по составу газовой составляющей глубинных пород, можно прийти к следующим выводам.

Газовая составляющая в верхней мантии, на уровне гранатовых перидотитов (т. е. на глубине свыше 70 км) имеет существенно водородный состав с небольшой примесью метана, азота, углекислоты, гелия и ничтожной примесью сложных углеводородов. В вертикальном разрезе верхней мантии состав газовой составляющей изменяется от существенно водородного до водородно-метанового в самых верхах мантии. Вопрос о содержании воды в верхней мантии остается открытым. Значительная часть определенной в образцах воды, по-видимому, не является первичной и связана с процессами позднейших изменений образцов.

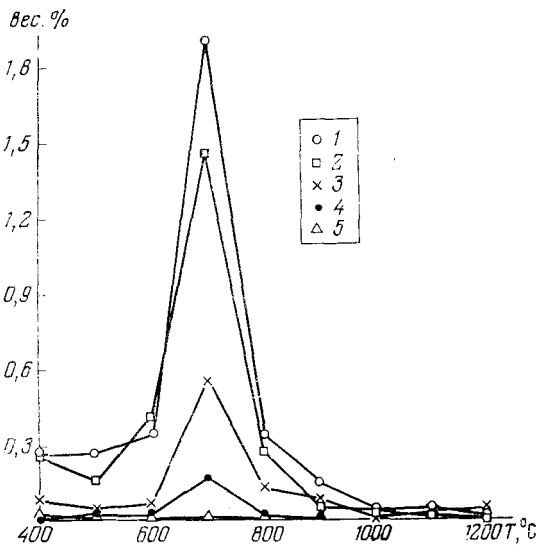


Рис. 2. Динамика выделения воды при нагревании (расчет на 1 кг породы). 1 — кимберлит; 2 — серпентинизированный перидотит; 3 — гранат-шпинелевый перидотит; 4 — эклогит; 5 — шпинелевый перидотит

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
5 VI 1975

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ E. Roedder, Am. Mineral., v. 50, 1746 (1965).
- ² H. W. Green, Nature Phys. Sci., v. 238, N 79 (1972).
- ³ А. А. Маракушев, Л. Л. Перчук, Докл. I Международн. геохим. конгресса, М., «Наука», 1972.
- ⁴ Н. В. Соболев, Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии, Новосибирск, «Наука», 1964.
- ⁵ Б. Г. Луцц, Петрология глубинных зон континентальной коры и верхней мантии, М., «Наука», 1974.
- ⁶ I. Kushiro, H. Yoder, Year Book Carnegie Inst. Wash., v. 64, 1965.
- ⁷ I. MacGregor, ibid., v. 64, 1965.
- ⁸ Л. В. Агафонов, Г. Л. Андреева, ДАН, т. 240, № 3 (1973).